

Zagadnienia normalizacji kryteriów w analizach wielokryterialnych w projektowaniu dróg

Piotr Żabicki¹, Władysław Gardziejczyk²

^{1,2} Zakład Inżynierii Drogowej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Białostocka, e-mail: ¹trafficpz@o2.pl, ²w.gardziejczyk@pb.edu.pl,

Streszczenie: Analiza wielokryterialna to metoda wspomagania procesu decyzyjnego w sytuacji gdy analizowanych jest wiele wariantów przebiegu tras drogowych na etapie przygotowywania dokumentacji projektowych autostrad, dróg ekspresowych czy obwodnic miejscowości. Polega ona na odpowiednim doborze kryteriów oceny oraz wag im przypisanych. Celem analizy wielokryterialnej jest wybór wariantu najkorzystniejszego najczęściej z punktu widzenia kryteriów o charakterze transportowym, środowiskowym, ekonomicznym i społecznym. Kryteria przyjęte do analizy wielokryterialnej mogą być wyrażone za pomocą parametrów mierzalnych bądź niemierzalnych. Aby możliwe było porównanie i ocena wariantów wszystkim kryteriom należy nadać wartości liczbowe niemianowane. Proces zastąpienia wartości mianowanej na niemianowaną nazywa się normalizacją. Normalizacja może przebiegać w oparciu o maksymalizację zmiennych (stymulanty) lub minimalizację zmiennych (destymulanty). W analizach prezentowanych w artykule zbadano wpływ przyjętej metody normalizacji kryteriów oraz zastosowanych wag poszczególnych kryteriów na wybór wariantu przebiegu trasy drogowej.

Słowa kluczowe: trasa drogowa, analiza wielokryterialna, metody normalizacji, kryteria oceny wariantów

1. Wprowadzenie

Analiza wielokryterialna to zestaw algorytmów stosowanych przy wyborze rozwiązania najkorzystniejszego wariantu przebiegu trasy drogowej na etapie przygotowywania dokumentacji projektowych autostrad, dróg ekspresowych czy obwodnic miejscowości. Wybór metody zależy między innymi od zróżnicowania liczby danych niezbędnych do wprowadzenia w danej metodzie, etapu przygotowania dokumentacji, skali i rodzaju przedsięwzięcia. Najczęściej są uwzględniane kryteria o charakterze transportowym, środowiskowym, ekonomicznym i społecznym [1,2,3].

Istotną rolę w ocenie poszczególnych wariantów przebiegu tras drogowych mają przyjęte kryteria oceny oraz przypisane im wagi punktowe. Przyjęte kryteria tworzą macierz danych, w której i -ty wiersz charakteryzuje wariant „ i ” według kolejnych (wszystkich) kryteriów, a j -ta kolumna – opisuje kolejne (wszystkie) warianty według określonego kryterium „ j ”. Kryteria przyjęte do analizy wielokryterialnej wyrażone są za pomocą parametrów mierzalnych (np. kryterium długości drogi wyrażana jest w kilometrach) oraz niemierzalnych, opisujących warianty bez ich oceny ilościowej (np. wpływ na krajobraz). W odniesieniu do tych ostatnich dokonuje się ich kwantyfikacji (nadania wartości liczbowych). Aby możliwe było porównanie i ocena wariantów wszystkim kryteriom nadaje się wartości liczbowe niemianowane. Proces zastąpienia wartości mianowanej na niemianowaną nazywa się normalizacją [4,5]. Normalizacja może przebiegać w oparciu o maksymalizację zmiennych (stymulanty) lub minimalizację zmiennych (destymulanty) [6].

Celem prowadzonych analiz jest zbadanie wpływu metody normalizacji kryteriów oraz zastosowanych wag, w odniesieniu do poszczególnych kryteriów, na wybór wariantu przebiegu trasy drogowej.

2. Analiza wielokryterialna – założenia

Rozpatrywany jest zbiór określonych wariantów rozwiązań $W = \{W_i: i=1, 2, 3 \dots, n\}$, dla których przyjmuje się zbiór kryteriów $K = \{K_j: j=1, 2, 3 \dots, m\}$, według których oceniane są poszczególne warianty. Dla każdego wariantu wyznacza się wartości x_{ij} (miara wariantu W_i według kryterium K_j), tworzące macierz danych: $X = \{x_{ij}: i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m\}$. W macierzy danych i -ty wiersz przedstawia charakterystykę wariantu „ i ” według kolejnych (wszystkich) kryteriów, a j -ta kolumna opisuje kolejne warianty według kryterium „ j ”. W zapisie tablicowym macierz ma postać (1):

$$\begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Znanych jest wiele metod normalizacji kryteriów. Normalizację Van Delfta i Nijkampa oraz Peldschusa zastosowano do wyboru projektu autostrady [7]. W pracy [8] wykorzystano metodę Weitendorfa do normalizacji kryteriów w ocenie negatywnych oddziaływań transportu drogowego na środowisko przyrodnicze.

W pracy [9] przedstawiono wybór wariantu korytarza drogowego za pomocą maksymalnej standaryzacji. Szwabowski i inni [6] zastosowali różne metody normalizacji kryteriów (normowanie, standaryzację, normalizację Weitendorfa, Pattern) w budownictwie ogólnym. Analizę metod normalizacji w teorii gier przedstawiono w pracy [10].

W artykule przeanalizowano 12 metod normalizacji przyjętych kryteriów oceny wariantów (tabela 1) [4,6,7,8,9,10]. Każda z wymienionych metod normalizacji ma swoje zalety jak i wady, jest mniej lub bardziej przydatna przy wyborze przebiegu trasy drogowej.

Ranking analizowanych wariantów ustala się na podstawie obliczonych ocen syntetycznych S_i . Do obliczenia oceny syntetycznej wariantu stosuje się wskaźnik sumowania bez lub z uwzględnieniem wag ω_j poszczególnych kryteriów, obliczony odpowiednio według wzoru (2) i wzoru (3):

$$S_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}^* \quad (2)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m x_{ij}^* \cdot \omega_j \quad (3)$$

Ocenę końcową analizowanych wariantów oblicza się poprzez sprowadzenie sumy wartości S_i do jedności według wzoru (4):

$$S_i^* = S_i / \sum_{i=1}^n S_i \quad (4)$$

w którym S_i^* jest znormalizowaną oceną syntetyczną wariantu S_i , ($\sum_{i=1}^n S_i^* = 1$). Najkorzystniejszym wariantem jest wariant charakteryzujący się najwyższą wartością S_i^* .

Tabela 1. Metody normalizacji kryteriów

Lp.	Metoda normalizacji	Normalizacja maksymalizująca (stymulanty)	Normalizacja minimalizująca (destymulanty)
1	Normalizacja Van Delfta i Nijkampa	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$	$x_{ij}^* = 1 - \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$
2	Normalizacja Weitendorfa	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-}$	$x_{ij}^* = \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-}$
3	Normalizacja Peldschusa	$x_{ij}^* = \left(\frac{x_{ij}}{x_j^+} \right)^2$	$x_{ij}^* = \left(\frac{x_j^-}{x_{ij}} \right)^3$
4	Normalizacja Jüttlera	$x_{ij}^* = \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+}$	$x_{ij}^* = \frac{x_j^- - x_{ij}}{x_j^-}$
5	Normalizacja Stoppa	$x_{ij}^* = \frac{100 \cdot x_{ij}}{x_j^+}$	$x_{ij}^* = \frac{100 \cdot x_j^-}{x_{ij}}$
6	Normalizacja Jüttlera i Körtha	$x_{ij}^* = 1 - \left \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+} \right $	$x_{ij}^* = 1 - \left \frac{x_j^- - x_{ij}}{x_j^-} \right $
7	Normalizacja logarytmiczna	$x_{ij}^* = \frac{\ln(x_{ij})}{\ln\left(\prod_{i=1}^n x_{ij}\right)}$	$x_{ij}^* = \frac{1 - \frac{\ln(x_{ij})}{\ln\left(\prod_{i=1}^n x_{ij}\right)}}{n-1}$
8	Normalizacja - sumowanie	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$	$x_{ij}^* = 1 - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$
9	Normalizacja Pattern	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}'}{\sum_{i=1}^n x_{ij}'}$
10	Normowanie	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{x_j^+}$	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}'}{x_j^{+'}}$
11	Standaryzacja	$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_j^-}{\sigma_j}$	$x_{ij}^* = (-1) \frac{x_{ij} - x_j^-}{\sigma_j}$
12	Maksymalna standaryzacja	$x_{ij}^* = \frac{-x_{ij}}{x_j^+} + 1$	

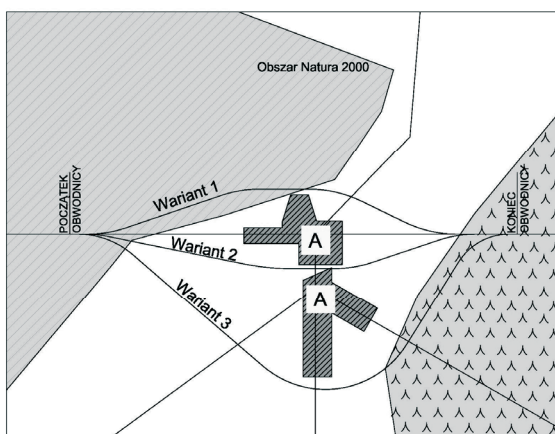
Oznaczenia podane w tabeli 1 określają: x_{ij}^* - znormalizowaną wartość wariantu i -tego według kryterium j -tego, x_{ij} - wartość wariantu i -tego według kryterium j -tego, $x_j^+ = \max_i(x_{ij})$, $x_j^- = \min_i(x_{ij})$ - maksymalną bądź minimalną wartość wariantu i -tego według kryterium j -tego, $x_{ij}' = 1/x_{ij}$, $x_{ij}^{+'}$ - maksymalną wartość wariantu i -tego według kryterium j -tego po maksymalizacji, \bar{x}_j - wartość średnią analizowanych wariantów według j -tego kryterium, $\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} / n$, σ_j - odchylenie standardowe, $\sigma_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 / n}$.

3. Normalizacja kryteriów oceny wariantów – opis wariantów i przyjęte kryteria oceny

Analizę wpływu metody normalizacji kryteriów oceny oraz wag na wybór wariantu przebiegu trasy drogowej przeprowadzono na przykładzie pokazanym na rysunku 1. Przyjęty układ wariantów jest często spotykany w warunkach polskich i dotyczy w szczególności obwodnic i obejść miejscowości. Planowane nowe odcinki tras drogowych kolidują z obszarami chronionymi i ingerują w istniejące zagospodarowanie obszaru. Rozwiązanie problemu wymaga ustalenia wariantu, który w najmniejszym stopniu ujemnie wpływa na obszary chronione oraz przyległą zabudowę mieszkalną.

Warianty przyjęte do analizy scharakteryzowano w następujący sposób:

- wariant 1 - przebieg obwodnicy po północnej stronie miejscowości A, projektowana droga narusza obszar Natura 2000, długość obwodnicy wynosi 3,88 km,
- wariant 2 - przebieg projektowanej drogi pomiędzy zabudową mieszkaniową, długość projektowanego odcinka drogi wynosi 3,82 km,
- wariant 3 - przebieg obwodnicy po stronie południowej, projektowana droga omija zabudowę mieszkaniową, długość obwodnicy wynosi 4,794 km.



Rys. 1. Schemat przebiegu wariantów obwodnicy miejscowości A

Analizę wielokryterialną obwodnicy miejscowości A przeprowadzono w oparciu o osiem kryteriów cząstkowych przypisanych do kryteriów głównych o charakterze transportowym, środowiskowym, ekonomicznym i społecznym (tabela 2). Wartości

poszczególnych kryteriów zostały ustalone przez autorów na podstawie własnych obliczeń, oszacowań i kalkulacji. W celu lepszego wyjaśnienia wpływu metody normalizacji na wynik analizy liczbę kryteriów cząstkowych w poszczególnych kryteriach głównych ograniczono do dwóch. W kryteriach transportowych uwzględniono długość drogi oraz liczbę węzłów drogowych. Kryteria środowiskowe uwzględniają: kolizję projektowanych wariantów z obszarem Natura 2000 i długość przebiegu drogi przez tereny leśne. Kryteria ekonomiczne obejmują koszty budowy drogi oraz ekonomiczną wartość bieżącą netto (*ENPV*). Koszty budowy drogi oszacowano w oparciu o cenę budowy jednego kilometra na poziomie 27 mln PLN w przypadku drogi klasy S 2x2. Kryteria społeczne obejmują liczbę budynków mieszkalnych do wyburzenia oraz liczbę osób narażonych na ponadnormatywny hałas.

W tabeli 2 wskazano także kryteria będące stymulantami („+”, - *ENPV*) i destymulantami („-” - pozostałe kryteria). W przypadku stymulant zastosowano normalizację maksymalizującą, a w przypadku destymulant normalizację minimalizującą.

Tabela 2. Kryteria przyjęte do analizy

Lp.	Kryteria	Jednostka	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
TRANSPORTOWE					
K1	Długość drogi	- [km]	3,880	3,820	4,794
K2	Liczba węzłów drogowych	- [liczba]	1	1	2
ŚRODOWISKOWE					
K3	Kolizja z obszarem Natura 2000	- [ha]	8,1	2,1	1,9
K4	Długość przebiegu drogi przez lasy	- [km]	2,5	1,0	2,1
EKONOMICZNE					
K5	Koszty budowy	- [10^6 PLN]	104,76	103,14	129,44
K6	Ekonomiczna wartość bieżąca netto <i>ENPV</i>	+ [10^6 PLN]	32,4	27,5	19,5
SPOŁECZNE					
K7	Liczba domów do wyburzenia	- [liczba]	6	18	4
K8	Liczba osób narażonych na ponadnormatywny hałas	- [liczba]	45	120	20

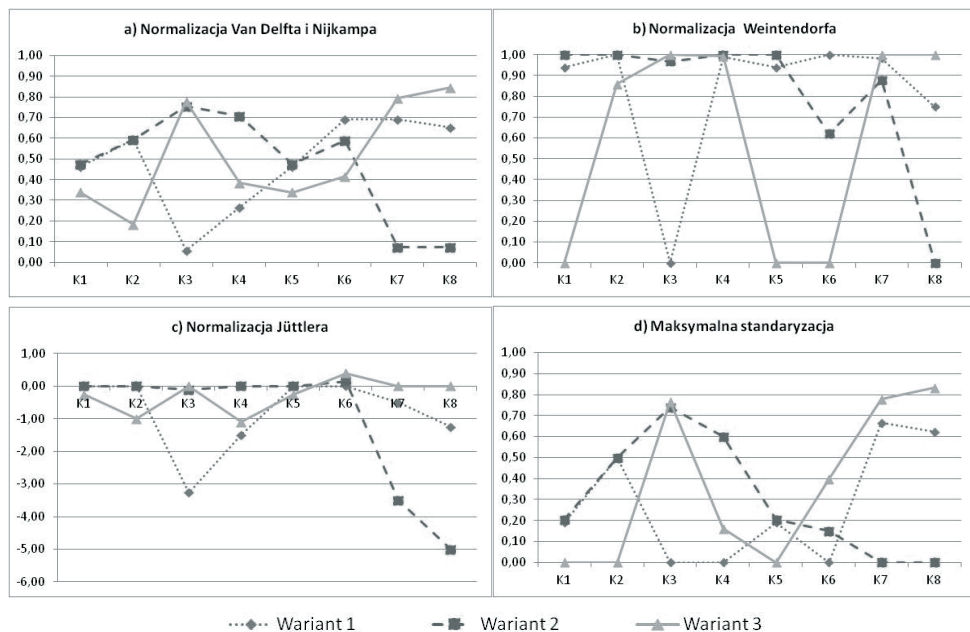
4. Wyniki obliczeń i ich analiza

Wpływ metody normalizacji kryteriów oceny, podanych w tabeli 1, na wybór najkorzystniejszego wariantu przebiegu trasy drogowej poprzedzono analizą metod normalizacji przedstawionych w tabeli 2 (bez uwzględnienia wag poszczególnych kryteriów). Wyniki obliczeń w odniesieniu do 12 metod normalizacji oraz studia literatury [4,6,7,9,10] pozwoliły na sformułowanie poniższych wniosków (na rysunku 2 pokazano uzyskane wartości jedynie dla 4 przykładowych metod normalizacji):

- Do normalizacji kryteriów najbardziej są przydatne metody: Van Delfta i Nijkampa (rys. 2a), Peldschusa, Stoppa, logarytmiczna, sumowania, Pattern, normowania. Zaletą tych metod normalizacji jest możliwość porównywania dowolnej liczby kryteriów, a znormalizowane wartości zawierają się w przedziale (0,1). Metody te mają zastosowanie do obliczeń oceny syntetycznej wariantów z uwzględnieniem wag w kryteriów.
- Zastosowanie metody Weitendorfa (rys. 2b), ze względu na otrzymane wartości "0" i "1" wśród znormalizowanych kryteriów, może w końcowej ocenie nie uwzględniać we właściwy sposób zebranych informacji w odniesieniu do poszczególnych wariantów.

- Metody Jüttlera (rys. 2c), Jüttlera i Körha oraz metoda standaryzacji, ze względu na występowanie wartości ujemnych, nie mają zastosowania w sytuacji, gdy jest wymagane aby wartości znormalizowane $x_{ij}^* > 0$. Jest to istotna wada tych metod.
- Metoda maksymalnej standaryzacji (rys. 2d), ze względu na wartości "0" wśród znormalizowanych kryteriów nie może być wykorzystana w analizach wielokryterialnych uwzględniających wagi punktowe poszczególnych kryteriów. W takiej sytuacji można wprowadzić wartość bliską „0”, ale dodatnią. Działanie takie jednak nie wpływa na czytelność i przejrzystość normalizacji kryteriów. Jest to istotna wada tej metody.

Na podstawie obliczeń z wykorzystaniem metod normalizacji: Jüttlera, Jüttlera i Körha oraz standaryzacji w końcowej ocenie wariantów otrzymano wartości ujemne (tabela 3). Potwierdza to nieprzydatność tych metod w analizach wielokryterialnych przy podejmowaniu decyzji o przebiegu trasy drogowej. Ranking wariantów przebiegu obwodnicy miejscowości A według rozpatrywanych metod normalizacji (bez uwzględnienia wag kryteriów oceny) przedstawiono w tabeli 3. Wyniki przeprowadzonych obliczeń, przy wykorzystaniu metod normalizacji, uznanych jako najbardziej przydatne przy kształtowaniu przebiegu tras drogowych (wniosek nr 1), nie wskazały jednoznacznie najkorzystniejszego wariantu przebiegu obwodnicy. Przy zastosowaniu metody Peldschusa i logarytmicznej za najlepszy uznano wariant 2, a w przypadku metod: Van Delfta i Nijkampa, Stoppa, sumowania, Pattern, normowania – wariant 3. Wariant 2 charakteryzuje się zdecydowanie najkrótszym przejściem przez obszary leśne oraz najmniejszą długością obwodnicy. Wariant 3 wyróżnia się najmniejszą kolizyjnością z obszarem Natura 2000, najmniejszą liczbą domów do wyburzenia i najmniejszą liczbą osób narażonych na ponadnormatywny hałas.



Rys. 2. Normalizacja kryteriów według przykładowych metod

Tabela 3. Wyniki analizy wariantów obwodnicy miejscowości bez uwzględnienia wag kryteriów

Lp.	Metoda normalizacji	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
1	Van Delfta i Nijkampa	0,3318	0,3193	0,3489
	Ranking	2	3	1
2	Weitendorfa	0,3683	0,3610	0,2707
	Ranking	1	2	3
3	Peldschusa	0,3023	0,3789	0,3188
	Ranking	3	1	2
4	Jüttlera	0,3803	0,4912	0,1285
	Ranking	2	1	3
5	Stoppa	0,3170	0,3407	0,3423
	Ranking	3	2	1
6	Jüttlera i Körha	0,2558	-0,1329	0,8772
	Ranking	2	3	1
7	Logarytmiczna	0,3305	0,3709	0,2986
	Ranking	2	1	3
8	Sumowania	0,3309	0,3227	0,3463
	Ranking	2	3	1
9	Pattern	0,3085	0,3303	0,3612
	Ranking	3	2	1
10	Normowania	0,3170	0,3407	0,3423
	Ranking	3	2	1
11	Standaryzacja	1,6196	1,7121	-3,3318
	Ranking	2	1	3
12	Maksymalna standaryzacja	0,2895	0,3195	0,3910
	Ranking	3	2	1

W praktyce przyjmowany układ wag charakteryzujących poszczególne kryteria jest najczęściej różny od podejścia zrównoważonego. Przeprowadzono więc obliczenia dla czterech przykładowych scenariuszy preferencji, przy następującym układzie wag: 55% (kryterium preferowane – 55%):15%:15%:15% (trzy pozostałe kryteria: 3x15%). Zastosowano przy tym metody normalizacji kryteriów wskazane powyżej jako najbardziej przydatne w tego typu analizach, rezygnując jednak z metody normowania (takie same wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu metody Stoppa). Wyniki obliczeń pozwoliły określić najkorzystniejsze warianty przebiegu obwodnicy miejscowości A w ramach poszczególnych scenariuszy preferencji przy przyjętych metodach normalizacji kryteriów (tabela 4).

Tabela 4. Najkorzystniejszy wariant przebiegu drogi (bez uwzględnienia wag i przy założonych scenariuszach preferencji)

Lp.	Metoda normalizacji	Bez wag kryteriów	Scenariusz preferencji			
			transportowy	środowiskowy	ekonomiczny	społeczny
1	Van Delfta i Nijkampa	W3	W1	W2	W1	W3
2	Peldschusa	W2	W2	W2	W2	W3
3	Stoppa	W3	W2	W2	W2	W3
4	Logarytmiczna	W2	W2	W2	W2	W1
5	Sumowania	W3	W1	W2	W1	W3
6	Pattern	W3	W2	W2	W2	W3

Wyniki analiz przedstawione w tabeli 4 nie pozwalają w jednoznaczny sposób wskazać optymalnej metody normalizacji kryteriów oceny wariantów. Zarówno w przypadku podejścia zrównoważonego (równe wartości wag poszczególnych kryteriów) jak i przy założonych przykładowych scenariuszach preferencji za najkorzystniejsze rozwiązanie uznawano różne warianty przebiegu obwodnicy miejscowości A. Jedynie w przypadku kryterium środowiskowego wariant 2 określono jako najkorzystniejszy niezależnie od metody normalizacji kryteriów. Wynika to jednak ze zdecydowanie korzystniejszych wartości kryteriów cząstkowych charakteryzujących ten wariant. Najbardziej zbliżone rozwiązania uzyskano przy zastosowaniu normalizacji metodą Peldschusa i metodą logarytmiczną. Stwierdzono przy tym także istotny wpływ przyjętego scenariusza preferencji na wynik analizy.

5. Podsumowanie

Analiza wielokryterialna jest metodą wspomaganą procesu decyzyjnego w sytuacji gdy rozważanych jest wiele wariantów przebiegu trasy drogowej. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że nie wszystkie znane metody normalizacji kryteriów oceny wariantów mogą być przydatne przy wyborze najkorzystniejszego wariantu przebiegu trasy drogowej. Za najbardziej właściwe można uznać metody: Van Delfta i Nijkampa, Peldschusa, Stoppa, logarytmiczną, sumowania, Pattern i normowania, ze względu na możliwość porównywania dowolnej liczby kryteriów, a znormalizowane wartości zawierają się w przedziale (0,1). Metody te pozwalają obliczyć oceny syntetyczne w odniesieniu do rozważanych wariantów z uwzględnieniem wag poszczególnych kryteriów. Jako nieprzydatne w rozwiązywaniu zagadnień kształtowania tras drogowych uznano normalizację kryteriów metodami: Weitendorfa, Jüttlera oraz Jüttlera i Körha, ze względu na występowanie wartości ujemnych i wartości zerowych, co uniemożliwia uwzględnienie wag kryteriów.

Ustalono także, że na ranking wariantów istotny wpływ mają przyjęte scenariusze preferencji, opisane poprzez wagi przyjętych kryteriów.

Dokonane ustalenia wskazują, że problem wyboru metody normalizacji kryteriów oceny wariantów ma istotny wpływ na wynik analizy wielokryterialnej w procesie decyzyjnym przy wyborze przebiegu tras drogowych i powinien być nadal badany.

Literatura

- 1 Bohatkiewicz J. Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych. GDDKiA/EKKOM Sp. z o.o., Kraków 2008.
- 2 De Silva, H., Tatam, CH., 1996. An empirical procedure for enhancing the impact of road investments. *Transport Policy* 3 (4), 210-221.
- 3 Kalamaras, G.S., Brino, L., Carrieri, G., Pline, C., Grasso, P., 2000. Application of multicriteria analysis to select the best highway alignment. *Tunneling and Underground Space Technology* 15 (4), 415-420.
- 4 Hwang C.L., Yoon K. Multiple attribute decision making - methods and applications. A state of the art survey. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1981.
- 5 Ginevicius R. Normalization of quantities of various dimensions. *Journal of Business Economics and Management* 9(1), (2008), 79-86.
- 6 Szwabowski J., Deszcz J. Metody wielokryterialnej analizy porównawczej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
- 7 Brauers W.K. M., Zavadskas E.K., Peldschus F., Turskis Z. Multi - objective decision – making for road design. *Transport* 23(3), (2008), 183-193.
- 8 Gadziński J. Ocena negatywnych oddziaływań transportu drogowego na środowisko przyrodnicze. *Przegląd komunikacyjny* 1 (2012), 14-19.

- 9 Geneletti D. Multicriteria analysis to compare the impact of alternative road corridors: a case study in northern Italy. *Impact Assessment and Project Appraisal* 23(2) (2005), 135-146.
- 10 Zavadskas E.K., Turskis Z. A new logarithmic normalization method in games theory. *Informatica* 19(2), (2008), 303-314.

Issues of criteria normalization in the multicriteria analyzes in the design of roads

Piotr Żabicki¹, Władysław Gardziejczyk²

^{1,2} *Division of Road Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering,
Białystok University of Technology, e-mail: ¹trafficpz@o2.pl, ²w.gardziejczyk@pb.edu.pl*

Abstract: Multicriteria analysis is a method for supporting the decision process in a situation where there are many variants of road alignments analyzed during the preparation of project documentation of motorways, expressways and bypasses. It is based on an appropriate choice of assessment criteria and weights assigned to them. The aim of the multicriteria analysis is choose the most beneficial variant for road alignment from the point of view of transport, environmental, economic and social criteria. The criteria adopted for the multicriteria analysis can be expressed by using measurable or immeasurable parameters. In order to be able to compare and assess the variants, dimensionless quantities must be assigned to the all criteria. The process of replacing a dimension quantity with a dimensionless one is called normalization. Normalization may be performed on the basis of maximizing the variables (stimulants) or to minimize the variables (destimulants). The analyses presented in the article examine the impact of the adopted method of criteria normalization and the weights of the criteria used for the selection of a road variant.

Keywords: road, multicriteria analysis, method of normalization, evaluation of variants

